

集成 A/D 和 D/A 转换器应用技术

于继洲 编著

国防工业出版社

73.875

107

集成 A/D 和 D/A 转换器 应用技术

于继洲 编著

国防工业出版社

0026/06

内 容 简 介

本书从应用角度出发,一方面阐述了集成 A/D 和 D/A 转换器的基本原理、检测方法以及国内外部分集成转换器的产品特性;另一方面重点介绍了转换器在科研和生产中的应用原理及其典型应用。在写法上也考虑到了应用的特点,阐述了几种主要系统的应用技术以及一些有实际价值的典型应用电路。有些电路可以直接服务于生产实践,解决技术问题;有些给出框图和基本原理,稍加扩展即可使实际问题迎刃而解。

本书对于从事数据采集和处理、图像处理、计算机和微型计算机的应用、数字通信、数字化测量、生化信号处理、雷达、导航和电子技术等方面的科研人员,对于从事工业企业(包括机械、钢铁、纺织、石油、水利、电力等)自动控制方面的工程技术人员是一本很有用的参考书。该书也可做为大中专院校有关专业的教学参考书。

集成 A/D 和 D/A 转换器应用技术

于继洲 编著

责任编辑 贾 山

国防工业出版社出版发行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

北京卫顺排版厂排版 国防工业出版社印刷厂印装

850×1168 1/32 印张17 $\frac{1}{2}$ 465千字

1989年2月第一版 1989年2月第一次印刷 印数: 0,00—4,580册

ISBN 7-118-00440-5/TN89 定价: 9.00元

前 言

随着社会的发展,科学技术和生产建设正在逐步向高、精、尖迈进,向着高效率自动化方向发展,因而深入研究和推广微型计算机的应用已经势在必行。我们知道,计算机要同外界打交道、处理科学和生产实际中的物理信息和生化信号是离不开A/D(模拟/数字)和D/A(数字模拟)转换器的,甚至可以说,没有A/D和D/A转换器的广泛应用,就没有微型计算机应用技术的发展,就谈不上现代化的实现。目前,我国已经研制和生产出许多大规模集成电路,混合集成和单片A/D、D/A转换器也相继出现,它们与微型计算机结合将发挥出不可估量的应用效益。电子学方面的专业技术人员、系统工程和计算机应用工程的技术人员都需要掌握转换器的应用技术,甚至非专门从事电子学技术的科技人员也需要了解转换器的应用技术,这个问题已经在国内外引起普遍重视。本书正是根据这种科研和生产发展上的需要而作。

考虑到在使用转换器之前必须对转换器有一个基本了解,本书在第一、四、六章中介绍了有关A/D和D/A转换器的基础知识和基本原理。在介绍国内外集成转换器的典型电路时,因为转换器的种类较多,既不可能一一介绍,又必须照顾到使用的范围,因此我们尽量选取在国内使用较多而又各具特色的集成电路,并且对于每一个品种都特别阐述了应用指南,有些还给出了典型应用电路,以便帮助读者更好地选择和使用转换器。

本书的其它几章全部是应用技术的介绍。在第二章中,选择使用者最关心的几种应用参数进行重点介绍,写法上也考虑到了应用的特点,不仅讲了参数定义,同时阐述了各参数规范值在不同的应用系统和场合中所起的作用,这样既可以加深对参数定义的理解,又使用户在实际应用中能进行适宜地选择和考虑。第三章介绍转换器的测试方法,包括静态测试和动态测试。不仅介绍

了国标（即集成 A/D 和 D/A 转换器测试方法的国家标准，简称国标）中所推荐的测试方法，同时还介绍了其它几种颇有实用价值的测试方法和系统。在第五章和第七章分别介绍了 D/A 和 A/D 转换器的应用系统和某些应用领域。当然，由于篇幅所限，不可能做更多介绍，本书只选择有代表性的某些系统和电路进行介绍，并且尽力选用现代发展起来的新技术和近几年出现的具有实际意义的应用电路，在有的章节还引用了八十年代新公布的专利文献，力图使读者更多地接受新思想和新技术。书中所介绍的有些电路可以直接服务于生产实践，解决技术问题，而另一些给出的框图和基本原理，稍加扩展即可使很多实际问题迎刃而解。在第八章中，从实际的应用系统考虑，介绍了转换器的有关外围电路。写法上完全不同于专门介绍这几种电路的有关书籍（如介绍运算放大器的书籍），这里是围绕转换器应用技术所涉及到的一些问题进行阐述的，以使读者在系统中更好地连同转换器一起进行应用。

本书对于从事数据采集和处理、图像处理、计算机和微型计算机的应用、数字通信、数字化测量、生化信号处理、雷达、导航和电子技术等方面的科研人员，对于从事工业企业（包括机械、钢铁、纺织、石油、水利、电力等）自动控制方面的技术人员是一本很有用的参考书。该书也可作为大中专院校有关专业的教学参考书。

本书在写作过程中得到了很多同志的帮助和支持，副所长张永祥同志参与了全书构思的讨论，并帮助编写了其中的两节（§ 5.3 和 § 7.17）；科学院电工所童忠镗研究员和蔡素斌同志在本书写作的自始至终给予了大力的支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中一定会有一些错误和不足之处，欢迎读者批评指教。

作 者

1986 年 8 月

目 录

第一章 集成数/模、模/数转换器基础	1
§ 1.1 数字量和转换码	1
1.1.1 数字量	1
1.1.2 二进制代码	2
1.1.3 二-十进制代码(BCD)	5
1.1.4 2-4-2-1二-十进制代码	6
1.1.5 格雷码	7
1.1.6 双极性代码	10
1.1.7 反码	14
§ 1.2 模拟量及其量化	14
§ 1.3 D/A转换器的基本原理	17
1.3.1 开关电路	18
1.3.2 D/A转换器的基本原理	28
§ 1.4 A/D转换器基本原理	37
1.4.1 逐次比较型A/D转换器	38
1.4.2 全并行A/D转换器	40
1.4.3 串并行A/D转换器	41
1.4.4 脉宽调制型A/D转换器	42
1.4.5 双积分型A/D转换器	43
1.4.6 电荷平衡A/D转换器	48
1.4.7 非线性不均匀编码A/D转换器	51
§ 1.5 采样定理	56
1.5.1 采样过程	56
1.5.2 采样定理	57
1.5.3 有关采样定理应用的几个问题	59
§ 1.6 误差分析和估算	60
1.6.1 D/A转换器的误差分析	60
1.6.2 A/D转换器的误差分析	61

1.6.3 系统误差估算实例	64
第二章 D/A和A/D转换器的应用参数	74
§ 2.1 静态参数	76
2.1.1 精度	76
2.1.2 分辨率和量化误差	76
2.1.3 线性误差	79
2.1.4 微分线性误差	84
2.1.5 单调性	86
2.1.6 其它静态参数	88
§ 2.2 动态参数	91
2.2.1 D/A转换器的建立时间	91
2.2.2 A/D转换器的转换时间	93
2.2.3 毛刺	94
2.2.4 其它动态参数	96
§ 2.3 噪声	97
2.3.1 参数定义及特性表述	97
2.3.2 A/D转换器的噪声分析	98
§ 2.4 根据应用参数选择转换器	102
2.4.1 D/A转换器参数规范的考虑	102
2.4.2 A/D转换器参数规范的考虑	106
2.4.3 系统的兼容性	109
第三章 转换器的测试	112
§ 3.1 D/A转换器的静态测试	112
3.1.1 逐点测试法	113
3.1.2 选点测试法	117
3.1.3 自动测试系统	121
§ 3.2 D/A转换器的动态测试	125
3.2.1 主过渡态测试法	125
3.2.2 计数型动态测试	128
3.2.3 满刻度建立时间的测量	131
3.2.4 1LSB建立时间的测量	133
§ 3.3 A/D转换器的静态测试	133

3.3.1	逐点测试法	134
3.3.2	选点测试法	138
3.3.3	自动测试系统	141
§ 3.4	A/D转换器的动态测试	144
3.4.1	动态信号叠加测试法	144
3.4.2	动态传递函数法	148
3.4.3	直方图测试法	153
3.4.4	差频法	157
§ 3.5	A/D转换器的噪声测试	159
3.5.1	比较测试法	159
3.5.2	概率计数法	161
第四章	几种典型的集成D/A转换器	166
§ 4.1	与微型计算机兼容的8位双缓冲D/A转换器 DAC0830/0832	167
4.1.1	参数特性及管脚说明	167
4.1.2	基本工作原理	170
4.1.3	应用指南	173
4.1.4	典型应用	174
§ 4.2	12位通用型D/A转换器 AD563	176
4.2.1	参数特性	176
4.2.2	基本电路原理	177
4.2.3	应用注意事项	181
4.2.4	三个变量的模拟乘法器	181
§ 4.3	超高速D/A转换器AD9768	182
4.3.1	参数特性	183
4.3.2	基本工作原理	183
4.3.3	应用指南	185
§ 4.4	高精度16位乘法型D/A转换器 AD7546	187
4.4.1	参数特性	188
4.4.2	基本工作原理	189
4.4.3	应用指南	193
§ 4.5	用于数字音频系统的14位D/A转换器	

TDA1540	197
4.5.1 一般介绍	197
4.5.2 基本工作原理	197
4.5.3 TDA1540的应用电路	202
§ 4.6 CMOS对数D/A转换器AD7111	203
4.6.1 参数特性	203
4.6.2 基本工作原理	204
4.6.3 应用指南	210
§ 4.7 3½位BCD码CMOS数字控制电位器	
AD 7525	211
4.7.1 参数特性	212
4.7.2 基本工作原理	213
4.7.3 应用指南	214
4.7.4 典型应用	216
第五章 D/A转换器的应用	218
§ 5.1 D/A转换器与微型计算机接口	219
5.1.1 直接与CPU相联	219
5.1.2 利用外部数据寄存器等简单的接口电路与CPU相	
联	221
5.1.3 利用专用I/O接口器件与CPU相联	225
§ 5.2 数据分配系统	229
5.2.1 随机模拟通道选择系统	229
5.2.2 并行数据分配系统	230
5.2.3 两种数据分配方式的比较	234
§ 5.3 阴极射线管显示器	235
5.3.1 雷达显示屏	236
5.3.2 字符/数字显示器	238
5.3.3 图形显示器	241
§ 5.4 通过D/A转换器实现A/D转换	244
5.4.1 用软件实现A/D转换	244
5.4.2 浮点A/D转换器	246
5.4.3 比率测量A/D转换器	249

5.4.4	电桥调零跟踪型A/D转换器	251
§ 5.5	数控电压源和数控电流源	253
5.5.1	数控电压源	253
5.5.2	数控电流源	255
§ 5.6	数字增益控制	258
5.6.1	直接耦合数字增益控制	258
5.6.2	数字化可编程增益	260
5.6.3	自动增益调整	262
§ 5.7	频率合成器	264
§ 5.8	矢量和图形发生器	270
5.8.1	基本内插法	271
5.8.2	三角波和锯齿波发生器	273
5.8.3	完整的图形发生器	276
§ 5.9	可编程有源滤波器	279
5.9.1	数字式可编程低通滤波器	279
5.9.2	可编程CCD递归滤波器	282
§ 5.10	用D/A转换器实现采样保持	285
5.10.1	跟踪型采样保持器	286
5.10.2	一个无降落的采样保持电路	287
5.10.3	利用A/D和D/A转换器构成的采样保持电路	288
§ 5.11	频率和波形的数字控制	289
5.11.1	三角波的数字控制	289
5.11.2	数控时钟脉冲频率	291
5.11.3	数控线性斜波	292
§ 5.12	数控直流电动机	294
第六章	几种典型的集成A/D转换器	300
§ 6.1	概述	300
§ 6.2	通用型A/D转换器ADC0801	301
6.2.1	参数特性	301
6.2.2	工作原理	302
6.2.3	模拟差分输入和共模抑制	305
6.2.4	应用指南	308

6.2.5	ADC0801与微型计算机系统的联接	307
§ 6.3	具有微型计算机接口的12位A/D转换器	
	AD574	315
6.3.1	参数特性	316
6.3.2	工作原理	317
6.3.3	应用指南	319
6.3.4	AD574与微型计算机系统联接	322
§ 6.4	高精度16位A/D转换器MN5280	324
6.4.1	参数性能	325
6.4.2	框图及时序图	327
6.4.3	应用指南	327
§ 6.5	8位高速A/D转换器TDC1007J	329
6.5.1	参数特性	329
6.5.2	工作原理	330
6.5.3	应用指南	331
§ 6.6	超高速6位多用途A/D转换器SDA5010	334
6.6.1	参数特性	334
6.6.2	电路设计及工作原理	334
§ 6.7	3½位双积分型A/D转换器 5G14433	337
6.7.1	工作原理	337
6.7.2	应用指南	340
§ 6.8	Σ - Δ 调制A/D转换器	342
6.8.1	转换特性	342
6.8.2	Σ - Δ 调制A/D转换器的基本原理和电路结构	342
6.8.3	在多路输入数据采集系统中的应用	348
6.8.4	D/A转换器与 Σ - Δ 调制器的组合	349
§ 6.9	用于PCM音频信号的单片10位A/D和D/A	
	转换器	351
6.9.1	基本原理	351
6.9.2	积分原理	352
6.9.3	积分器电路和采样保持电路	355
6.9.4	电流源电路	356

6.9.5	计数器电路	357
6.9.6	IC的特性	358
§ 6.10	集成PCM编译码器	359
6.10.1	基本原理	360
6.10.2	D/A转换器的设计	362
6.10.3	比较器电路	364
第七章	A/D转换器的应用	366
§ 7.1	与微型计算机接口	367
7.1.1	与CPU直接相联	367
7.1.2	利用三态门或简单接口电路联接	368
7.1.3	利用I/O接口器件与CPU相联	372
7.1.4	通过DMA与CPU相联	376
§ 7.2	数据采集	379
7.2.1	基本数据采集单元	379
7.2.2	信号处理中的几个问题	381
7.2.3	系统设计和分析	384
§ 7.3	利用5G14433A/D转换器实现自动转换量程 的数字多用表	388
7.3.1	5G14433A/D转换器	388
7.3.2	数字多用表的基本原理	391
§ 7.4	数字式电子秤	393
7.4.1	基本数字式电子秤电路	395
7.4.2	带有溢出标志的数字式电子秤	396
7.4.3	不需要转换量程的精密数字式电子秤	398
§ 7.5	电桥平衡的数字式测量	401
§ 7.6	高精度交流电能测量系统	405
§ 7.7	数字式电视机	409
7.7.1	一般介绍	409
7.7.2	视频信号处理单元VCU和VPU	410
7.7.3	偏转处理单元	415
7.7.4	伴音电路	417
7.7.5	结论	418

§ 7.8	数字存储示波器	420
7.8.1	基本原理	421
7.8.2	现代技术的发展趋势	422
7.8.3	数字波形存储器的应用	422
§ 7.9	具有智能A/D转换器的飞点扫描器	423
7.9.1	飞点扫描技术	423
7.9.2	具有智能A/D转换器的飞点扫描器的基本原理	424
7.9.3	测量过程	428
§ 7.10	电传打字机接口	430
§ 7.11	带有自动数据处理功能的透视诊断装置	433
7.11.1	基本结构和原理	433
7.11.2	A/D 转换器单元	434
7.11.3	积分器调零电路	436
7.11.4	积分器预处理电路	438
7.11.5	自动校正系统	441
§ 7.12	核物理实验扫描器	444
7.12.1	扫描器的基本原理	444
7.12.2	A/D 转换器	444
7.12.3	扫描寄存器	447
7.12.4	判断和寻址逻辑	449
7.12.5	误差检测	452
§ 7.13	非色散型红外分光光谱仪	453
§ 7.14	探伤仪中的 A/D 转换器	458
7.14.1	探伤仪的基本原理	458
7.14.2	乘法型A/D转换器构成的比较数据信号	459
§ 7.15	电子温度计	464
§ 7.16	数字信号分析中的A/D转换器	468
§ 7.17	轴角-数字转换器	472
7.17.1	采用逐次比较型A/D转换器构成的SDC	473
7.17.2	集成轴角-数字转换器简介	482
第八章	转换器的外围电路	489
§ 8.1	精密参考电压	489

8.1.1	齐纳二极管稳压电路	489
8.1.2	运算放大器构成的参考电压	491
8.1.3	介绍几种专门器件	494
§ 8.2	采样保持电路	497
8.2.1	基本采样保持电路	498
8.2.2	采样保持的误差分析	500
8.2.3	集成采样保持电路	503
§ 8.3	运算放大器	506
8.3.1	如何选择适用于具体转换器系统的运算放大器	507
8.3.2	仪用放大器	515
§ 8.4	模拟开关和模拟多路转换开关	518
8.4.1	模拟开关	519
8.4.2	单端多路转换开关	523
8.4.3	差分多路转换开关	525
8.4.4	集成模拟多路转换开关CD4051	527
§ 8.5	数字多路转换器	530
8.5.1	数字多路转换器在多路数据采集系统中的应用	530
8.5.2	双四输入多路转换器9309	531
8.5.3	八输入多路转换器DM7210	532
§ 8.6	传感器	536
8.6.1	电阻性传感器	536
8.6.2	电容性传感器	541
8.6.3	电感性传感器	542
8.6.4	基本位置传感器	542
8.6.5	数字码方位传感器	543
8.6.6	速度和加速度传感器	546
8.6.7	温度传感器	548
参考文献		552

第一章 集成数/模、模/数 转换器基础

自然界的一些现象，如温度、压力、位移、旋转、电磁场强度等均属模拟现象，处理这些现象所用的仪器设备，如计算机、数字电压表、频率计、频谱分析仪等数字仪表都是用数据进行运算、分析和控制。这样就需要在模拟现象和数据之间架起一座桥梁，建立关系，勾通联系，进行相互转换。A/D（模/数）和D/A（数/模）转换器正是起到这种桥梁作用，将模拟量变成数字量，或者将数字量变成模拟量的一种接口器件。那么A/D和D/A转换器究竟是什么样的器件？它们是如何构成的呢？这一章介绍一下A/D和D/A转换器的基础知识和基本工作原理。

§ 1.1 数字量和转换码

1.1.1 数字量

数字量是用数值表示信号的大小或变化的量。它是离散量，信息只按有限个不连续的阶梯或增量改变。在计算机系统中，通常采用二进制数。在二进制中，逻辑电平的高态表示数值“1”，低态表示数值“0”，正逻辑也把高态称为“真”态，低态称为“伪”态。在TTL逻辑电平中，正逻辑“真”或“1”规定为电平 $\geq 2.0V$ ，“伪”或“0”规定为电平 $\leq 0.8V$ 。

数字代码是若干个0和1的组合。1010101101为一组十位数字代码，左边第一位的“1”是最高有效位（MSB），右边第一位（或说左边第十位）的“1”是最低有效位（LSB）。对逻辑门来说，数字代码可以并行地出现在一组门的输入或输出端（并行字节），也可以串行地按一定时间顺序出现在门的输入或输出端（串行字节），如图1-1所示。

§910204

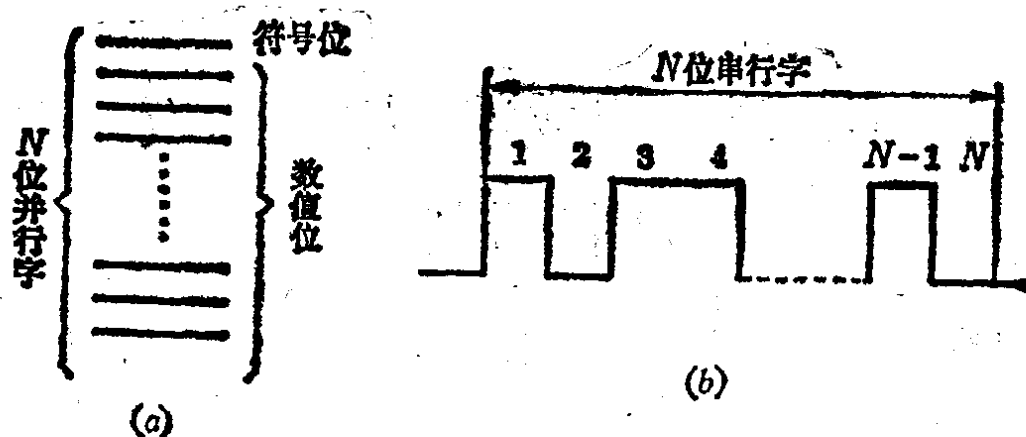


图1-1 数字码

(a) 并行字节; (b) 串行字节.

并行字节传送数据快, 信息同时出现; 串行字节信息的改变需要一个完整的字节时间, 按位同步地顺序改变, 因此要相对慢一些。

1.1.2 二进制代码

二进制数每一个数位只能取两个不同的数码“0”和“1”, 而且是“逢二进一”的, 所以它很容易通过各种数字电路实现。数字信号只有两种状态, 通和断状态, 相当于逻辑“1”和“0”, 刚好满足基数为2的条件。这就使得二进制代码在A/D、D/A转换器和计算机中得到了广泛的应用。

任意一个二进制数 S 都可以表示成

$$S = a_m 2^m + a_{m-1} 2^{m-1} + \cdots + a_0 2^0 + a_{-1} 2^{-1} + \cdots + a_{-n} 2^{-n}$$

$$= \sum_{i=-n}^m a_i 2^i \quad (1-1)$$

其中, a_i 只能取0或1, 它由 S 决定; m 、 n 为正整数; 2^i 称为 a_i 的权值。式(1-1)也称为二进制数按权 2^i 的展开式, 比如11011.101可以写成

$$11011.101 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1$$

$$+ 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

11011.101自左至右每一位数字对应的权分别为: 2^4 、 2^3 、 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 、 2^{-3} 。

在A/D和D/A转换器中，二进制代码基本上用小数，在 n 位的二进制小数代码中，最高位的权值是 $1/2(2^{-1})$ ，第二位的权值是 $1/4(2^{-2})$ ，依此类推，直至最低位，最低位的权值是 2^{-n} 。把所有非零位的权值加起来即为二进制数的值。表1-1给出了四位代码和相应的二进制、十进制小数表示的对应关系。

表1-1 二进制代码

十 进 制	二进制	四位代码			
		最高位 ($\times 1/2$)	第二位 ($\times 1/4$)	第三位 ($\times 1/8$)	第四位 ($\times 1/16$)
0	0.0000	0	0	0	0
$1/16=2^{-4}(\text{LSB})$	0.0001	0	0	0	1
$2/16=1/8$	0.0010	0	0	1	0
$3/16=1/8+1/16$	0.0011	0	0	1	1
$4/16=1/4$	0.0100	0	1	0	0
$5/16=1/4+1/16$	0.0101	0	1	0	1
$6/16=1/4+1/8$	0.0110	0	1	1	0
$7/16=1/4+1/8+1/16$	0.0111	0	1	1	1
$8/16=1/2(\text{MSB})$	0.1000	1	0	0	0
$9/16=1/2+1/16$	0.1001	1	0	0	1
$10/16=1/2+1/8$	0.1010	1	0	1	0
$11/16=1/2+1/8+1/16$	0.1011	1	0	1	1
$12/16=1/2+1/4$	0.1100	1	1	0	0
$13/16=1/2+1/4+1/16$	0.1101	1	1	0	1
$14/16=1/2+1/4+1/8$	0.1110	1	1	1	0
$15/16=1/2+1/4+1/8+1/16$	0.1111	1	1	1	1

由表1-1可以看出，四位代码都为1时的数值是 $15/16=1-1/16$ ，用小数表示为 $0.1111=1-0.0001$ ，这就是说，在二进制中若所有的位均为“1”，则该数的值是 $1-2^{-n}$ ，比归一化的满度值小1LSB。十位全“1”代码1111111111的值为 $1-1/1024=0.9990235$ 。十位代码1010101101归一化数值是：